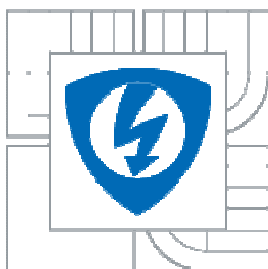


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS**

## **NAPÁJECÍ ZDROJ S DIGITÁLNÍM ŘÍZENÍM**

**DIGITALLY CONTROLLED POWER SUPPLY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
**BACHELOR'S THESIS**

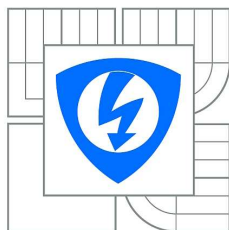
**AUTOR PRÁCE**  
**AUTHOR**

**MARTIN MADRON**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
**SUPERVISOR**

**Ing. MICHAL KUBÍČEK, Ph.D.**

**BRNO 2011**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Martin Madron  
**Ročník:** 3

**ID:** 111085  
**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Napájecí zdroj s digitálním řízením**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci laboratorního zdroje s možností regulace napětí i proudu. Ovládání zdroje bude provedeno pomocí klávesnice, data budou zobrazena na LCD displeji. Navržený zdroj realizujte a ověřte jeho parametry.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREJČIŘÍK, A.: Napájecí zdroje 1 až 4. Praha: BEN - technická literatura, 1996 až 1999

[2] NOVOTNÝ, V. Napájení elektronických zařízení. Skriptum. Brno: FEI VUT v Brně, 1999.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 27.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Kubíček, Ph.D.

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**  
*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem digitálně řízeného napájecího zdroje. Na úvod je popsán obecný princip napájecích zdrojů a jejich dělení. Dále se práce zabývá návrhem řešení regulovatelného zdroje s nastavitelnou proudovou pojistkou. Řešení zdroje bylo provedeno pomocí lineárních regulátorů L200 řízených digitálními potenciometry. Řídící část obstarává mikrokontrolér ATmega16 od firmy ATMEL. Uživatelské rozhraní je realizováno pomocí maticové klávesnice a LCD displeje. Na závěr práce je řešen výběr konstrukčních komponentů zdroje.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Napájecí zdroj, ATmega16, digitální potenciometr, L200, AD5293, SPI

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis is about design of digitally controlled power supply. The introduction describes the basic principle of power supplies and their division. The thesis deals with solving the adjustable current source with adjustable current cutout. The solution of supply was made using linear stabilizers L200 controlled by digital potentiometers. Control handles microcontroller ATmega16 from Atmel. The user interface is realized by the matrix keyboard and LCD display. At the conclusion of the work there is a selection of the structural components.

## **KEYWORDS**

Power supply, ATmega16, digital potentiometer, L200, AD5293, SPI

Madron, M. *Napájecí zdroj s digitálním řízením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 32 s., 8 s. příloh. Bakalářské práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Kubiček, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Napájecí zdroj s digitálním řízením jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Kubíčkoví, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>x</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 NAPÁJECÍ ZDROJE</b>	<b>2</b>
1.1 Napájecí zdroje obecně .....	2
1.1.1 Lineární zdroje .....	2
1.1.2 Spínané zdroje .....	3
1.1.3 Volba typu zdroje .....	3
1.2 Regulace řízená mikrokontrolérem .....	4
<b>2 NÁVRH ZDROJE</b>	<b>5</b>
2.1 Blokové schéma zdroje .....	5
2.2 Mikrokontrolér .....	6
2.2.1 Programování mikrokontroléru .....	7
2.3 LCD displej .....	8
2.4 Maticová klávesnice .....	9
2.5 Měření proudu, napětí a teploty .....	10
2.5.1 Výstupní napětí .....	10
2.5.2 Měření proudu obvodem INA194 .....	11
2.5.3 Měření teploty obvodem LM35DZ .....	11
2.6 Lineární regulátor L200CV .....	12
2.7 Digitální potenciometr AD5293 .....	14
2.7.1 SPI sběrnice .....	15
2.7.2 Zápis a čtení z AD5293 .....	16
2.8 Rozšiřující periferie .....	20
2.9 USB komunikace přes FT232RL .....	21
2.10 Napájecí část .....	21
<b>3 REALIZACE A OŽIVENÍ</b>	<b>24</b>
3.1 Popis konstrukce .....	24

3.2	Popis ovládacího programu.....	25
3.2.1	Ovládání .....	27
3.3	Oživení a měření vlastností.....	27
3.3.1	Zatěžovací charakteristika.....	27
3.3.2	Funkce proudové pojistky .....	28
3.3.3	Výstupní zvlnění .....	29
<b>ZÁVĚR</b>		<b>32</b>
<b>Literatura</b>		<b>33</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>		Error! Bookmark not defined.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 : Blokové schéma elektronického napájecího zdroje (převzato z [1]) .....	2
Obr. 2 : Obecné blokové schéma spínaného zdroje (převzato z [2]) .....	3
Obr. 3 : Blokové schéma zdroje .....	5
Obr. 4 : Využití vývodů mikrokontroléru .....	7
Obr. 5 : Zapojení ISP konektoru .....	7
Obr. 6 : Vzhled vývojového prostředí AVR studio 4 (převzato z [4]) .....	8
Obr. 7 : Zapojení LCD konektoru .....	9
Obr. 8 : Zapojení konektoru maticové klávesnice .....	10
Obr. 9 : Zapojení obvodu INA194 .....	11
Obr. 10: Zapojení konektoru teplotních čidel .....	12
Obr. 11 : Zapojení regulace napětí a proudové pojistky .....	13
Obr. 12 : Zapojení obvodu MAX1673 pro vytvoření záporného napětí .....	14
Obr. 13: typické zapojení SPI sběrnice (převzato z [1]) .....	15
Obr. 14: Daisy chain zapojení (převzato z [13]) .....	16
Obr. 15: Časový diagram čtení a zápisu AD5293, a) zápis, b) čtení, CPOL = 0, CPHA=1 (převzato z [13]) .....	18
Obr. 16: Zapojení digitálního potenciometru .....	18
Obr. 17 : Vnitřní topologie vývodů $V_{DD}$ , $V_{SS}$ , A, B a W (převzato z [13]) .....	19
Obr. 18 : Architektura vývodů A, B a W (převzato z [13]) .....	19
Obr. 19: a) spínání ventilátoru b) zapojení piezoelektrického měniče c) zapojení indikační LED .....	20
Obr. 20 : Zapojení obvodu FT232RL .....	21
Obr. 21: Zapojení srážecího členu se zenerovou diodou a tranzistorem .....	22
Obr. 22 : Zapojení stabilizátoru LM317 a LED signalizující zapnutí napájení .....	23
Obr. 23 : Zapojení přepětové ochrany společně se stabilizátorem napětí pro ventilátor a digitální potenciometry .....	23
Obr. 24 : a) deska plošného spoje usměrňovače, b) deska plošného spoje zdroje .....	24
Obr. 25 : Celkový vzhled zařízení .....	25
Obr. 26 : Vývojový diagram řídicího programu .....	26
Obr. 27 : Zatěžovací charakteristika zdroje .....	28
Obr. 28 : Měření proudové pojistky .....	29



Obr. 29 : Výstupní zvlnění naprázdno, 12V .....	30
Obr. 30 : Výstupní zvlnění při zatížení, 12V/1A .....	30
Obr. 31 : Výstupní šum, 12V .....	31

# SEZNAM TABULEK

Tab. 1 : Porovnání spínaných a lineárních zdrojů (převzato z [3]).....	3
Tab. 2: Soupis ovládacích funkcí knihovny pro LCD.....	9
Tab. 3 : Funkce jednotlivých pinů SPI sběrnice .....	15
Tab. 4: Tabulka příkazů AD5293(převzato z [13]).....	16
Tab. 5: Odblokování potenciometrů .....	17

# ÚVOD

Napájecí zdroje jsou nedílnou součástí elektroniky, jelikož každé zařízení musí být nějakým způsobem napájeno. Napájená zařízení mají vždy specifické požadavky na napájecí zdroj, jako jsou např. napájecí napětí, velikost požadovaného proudu atd. Některé napájecí zdroje musí být schopny tyto parametry měnit podle potřeby napájeného zařízení.

Napájecí zdroje jsou dále děleny podle jejich dalších parametrů a principu na kterém pracují, jako jsou zdroje s transformátorem nebo spínané zdroje, velikost a váha zdroje, místo svého použití, schopnost rychle v čase měnit velikost dodávaného proudu atd. Například klasický napájecí zdroj s transformátorem je nejlépe využít tam, kde nevadí jeho velká váha a rozměry, ale je potřeba rychle v čase měnit velikost dodávaného proudu. Naopak spínané zdroje najdou své uplatnění v místech, kde jsou vítány jejich malé rozměry za cenu horších napájecích parametrů a fakta, že generují rušení do svého okolí.

Důležitou součástí napájecího zdroje je výkonová část, která dává přímo napětí na výstup zdroje, a dodává tak přímo energii napájenému zařízení. Tato část bývá realizována mnoha způsoby, a udává tak charakter napájecího zdroje. Způsoby řešení výkonové části jsou různé. Podle požadavků napájeného zařízení je tato část řešena např. sestavením z diskretních součástek, použitím integrovaných lineárních stabilizátorů, spínaných regulátorů, či DC/DC měničů.

V této bakalářské práci bylo využito řešení pomocí lineárních regulátorů s integrovanou proudovou pojistkou, řízených pomocí digitálních potenciometrů. Jelikož nejsou kladeny požadavky na malé rozměry, zdroj je řešen pomocí transformátoru. Tím odpadá potřeba řešit rušení vznikající u spínaných zdrojů. Samotný zdroj má dva kanály s možností regulace napětí v rozmezí 0 – 30V a proudu 0 - 2A. Transformátor byl použit s větším výstupním napětím než je dovoleno přivést na vstup lineárních regulátorů, proto bylo potřeba toto napětí snížit pomocí srážecích členů s tranzistorem a zenerovou diodou. Zapojení také obsahuje obvod FT232RL pro pozdější možnost implementace komunikace s osobním počítačem.

Práce je rozdělena do tří kapitol, v první kapitole jsou popsány napájecí zdroje obecně a jsou zde popsány výhody a nevýhody ovládání zdroje digitálního řízení oproti analogovému řízení. Druhá kapitola obsahuje samotný návrh zdroje s popisem jednotlivých částí. Ve třetí kapitole se nachází realizace zdroje, popis ovládacího programu a naměřené údaje.

# 1 NAPÁJECÍ ZDROJE

Obsah následující kapitoly je obecný úvod do funkce zdrojů. Jsou zde popsány způsoby řízení zdrojů pomocí mikrokontrolérů a jejich výhody a nevýhody oproti řízení analogovému.

## 1.1 Napájecí zdroje obecně

Jakékoliv elektronické zařízení vyžaduje ke své činnosti napájení. K tomu slouží napájecí zdroje které můžeme podle typu dodávaného výkonu dělit na :

- Zdroje stejnosměrných napětí a proudů,
- zdroje střídavých napětí a proudů.

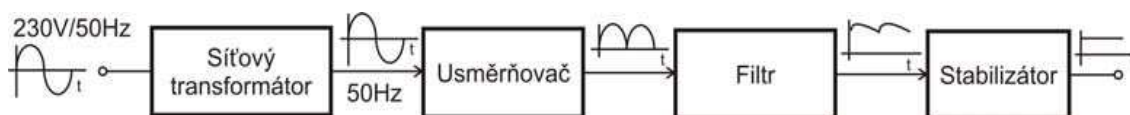
Také se liší fyzikálním principem činnosti jako jsou:

- Zdroje elektrochemické (baterie, akumulátory),
- zdroje elektromechanické (alternátory, dynamo, generátory)
- zdroje používající síťového napětí (elektronické).

V této bakalářské práci je použit zdroj stejnosměrného napětí a proudu používajícího síťové napětí.

### 1.1.1 Lineární zdroje

U lineárních zdrojů napětí se používá zapojení znázorněné na obrázku 1.



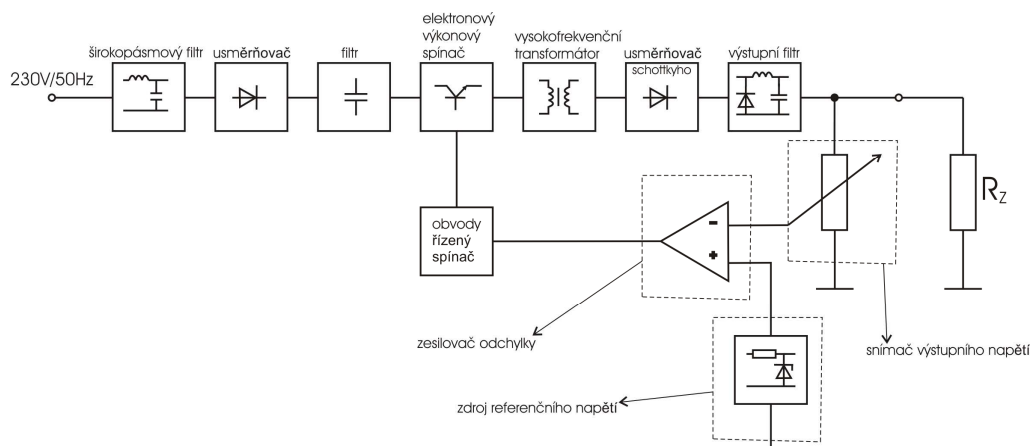
Obr. 1 : Blokové schéma elektronického napájecího zdroje (převzato z [1])

Nejdříve se musí transformovat síťové napájecí napětí na požadovanou hodnotu pomocí transformátoru znázorněném v prvním bloku. Transformátor také galvanicky odděluje ostatní obvody od síťového napětí. Výsledné střídavé napětí se usměrní pomocí diodového usměrňovače na pulsující stejnosměrné napětí. Tyto pulsy se vyhladí použitím velké kapacity a stabilizují stabilizátorem na požadovanou hodnotu [1].

Lineární zdroje začínají být pomalu nahrazovány zdroji spínanými. Jsou však jednoduché a mají velmi malé zvlnění.

### 1.1.2 Spínané zdroje

Zapojení spínaných zdrojů je znázorněno na obrázku 2.



Obr. 2 : Obecné blokové schéma spínaného zdroje (převzato z [2])

Síťové napětí se musí nejdříve usměrnit pomocí diodového můstku a vyhladit kondensátorem. Poté se napětí rozstřídá pomocí spínaných tranzistorů na frekvenci řádově desítek kHz. Napětí je dále transformováno pomocí impulsního transformátoru a opět usměrněno schottkyho diodami a vyhlazeno kondensátorem. O stabilitu napětí se stará zpětná vazba [2].

Spínané zdroje vykazují velkou účinnost a malé rozměry.

### 1.1.3 Volba typu zdroje

Tabulka 1 zobrazuje porovnání spínaných a lineárních zdrojů.

Tab. 1 : Porovnání spínaných a lineárních zdrojů (převzato z [3])

	Spínané zdroje	Klasické zdroje
Účinnost	75-90%	30%
Velikost	0,2W/cm <sup>2</sup>	0,05W/cm <sup>2</sup>
Váha	100W/kg	20W/kg
Výstupní zvlnění	50mV	10mV
Šumové napětí	200mV	50mV
Odezva na skok	1ms	20ms

Po porovnání vlastností byla zvolena lineární koncepce. Hlavní přednosti spínaných zdrojů, jako jsou malé rozměry a vysoká účinnost, nejsou u laboratorních zdrojů rozhodující. Při výběru lineární koncepce také odpadne potřeba řešit případné rušení typické pro spínané zdroje. Lineární zdroje mají také menší výstupní zvlnění a jejich konstrukce je mnohem jednodušší.

## 1.2 Regulace řízená mikrokontrolérem

Mikrokontrolérem řízené zdroje se hojně využívají díky svým nesporným výhodám jako je vysoká přesnost, menší rozměry a velice jednoduchá možnost zobrazení mnoha údajů na LCD displeji.

Oproti analogově řízeným zdrojům mají velkou výhodu v tom, že se dají na již oživeném zařízení změnou firmwaru zásadně změnit vlastnosti zdroje. Další výhodou oproti analogově řízenému zdroji je možnost trvalého uložení nastavení a dat do paměti a ponechání tak současného nastavení parametrů na příští práci se zdrojem, nebo uložení důležitých údajů jako je například hodnota teploty z teplotních snímačů v různých časech.

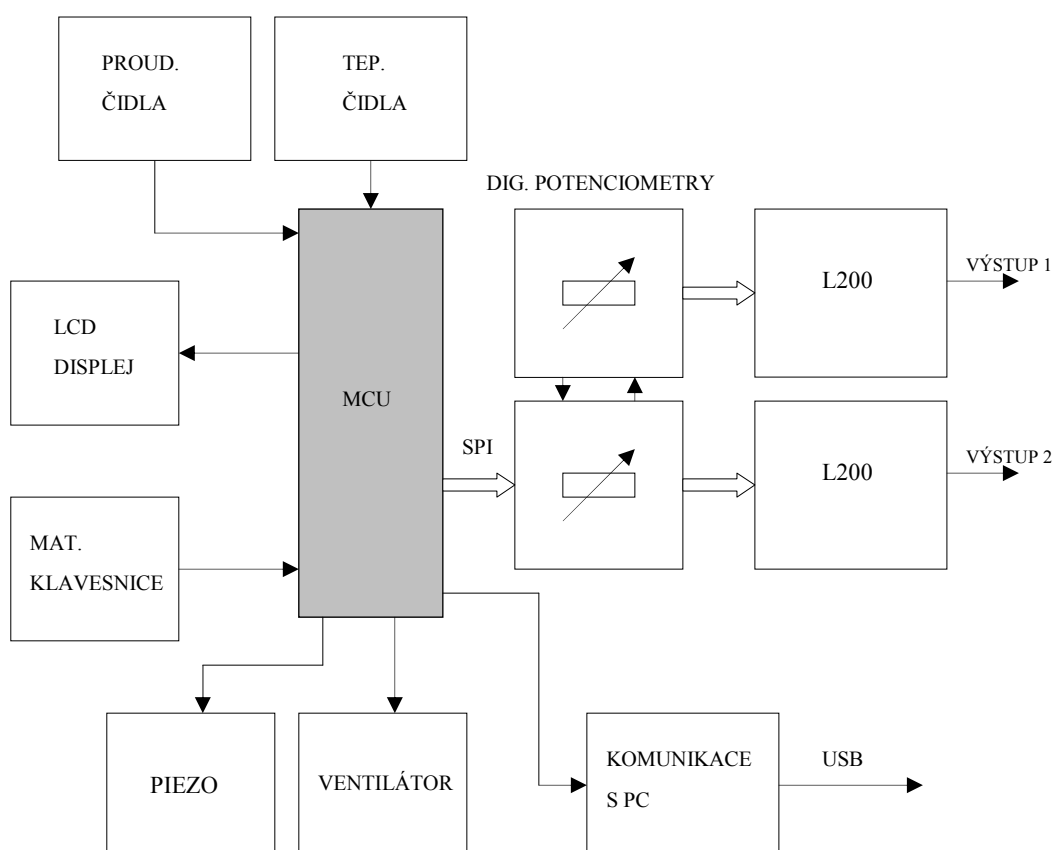
K velkým výhodám těchto zdrojů také patří možnost komunikace s osobním počítačem pomocí sériového rozhraní a možnost tak nastavovat nebo číst výstupní parametry zdroje. Úpravou firmwaru lze také korigovat chyby vznikající na součástkách a co nejvíce tyto chyby potlačit.

Na druhou stranu analogové řízení nevyžaduje pomalejší operace jako je vzorkování a matematické operace a je tak mnohem rychlejší.

## 2 NÁVRH ZDROJE

V následující kapitole je řešen celkový návrh zdroje a jsou zde podrobně popsány jeho jednotlivé části. Obsahuje také blokové schéma a výpočet součástek.

### 2.1 Blokové schéma zdroje



Obr. 3 : Blokové schéma zdroje

Blokové schéma na obr. 3 znázorňuje zapojení zdroje, jehož návrhem se zabývá tato bakalářská práce. Srdcem zapojení je osmi bitový mikrokontrolér ATmega16. Řízení zdroje je provedeno pomocí maticové klávesnice a data jsou zobrazena na čtyř řádkovém LCD displeji s řadičem HD44780. Stabilizace výstupního napětí je provedena pomocí dvou lineárních regulátorů L200CV. Řízení regulátorů provádí dvojice digitálních potenciometrů komunikujících s mikrokontrolérem pomocí SPI sběrnice. Zdroj obsahuje čidlo sledující teplotu výkonové části. V případě překročení teploty 45° při větším zatížení zdroje sepne mikrokontrolér ventilátor. Pro generování zvukové výstrahy obsahuje zdroj také piezoelektrický měnič. Zvukovou výstrahu je například

možné použít pro signalizaci aktivace proudové pojistky nebo překročení povolené teploty na chladiči.

## 2.2 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér bude řídit celkový chod zapojení zdroje, proto je velice důležité vybrat co nejlépe vyhovující obvod. Vybraný mikrokontrolér musí být schopen provést operace, jako je například A/D převod signálů z čidel a napěťových děličů, sériová komunikace po USB a SPI sběrnici. Musí mít dostatek vývodů pro ovládání maticové klávesnice a LCD displeje. Musí být schopen zajistit provedení těchto operací nejlépe v reálném čase.

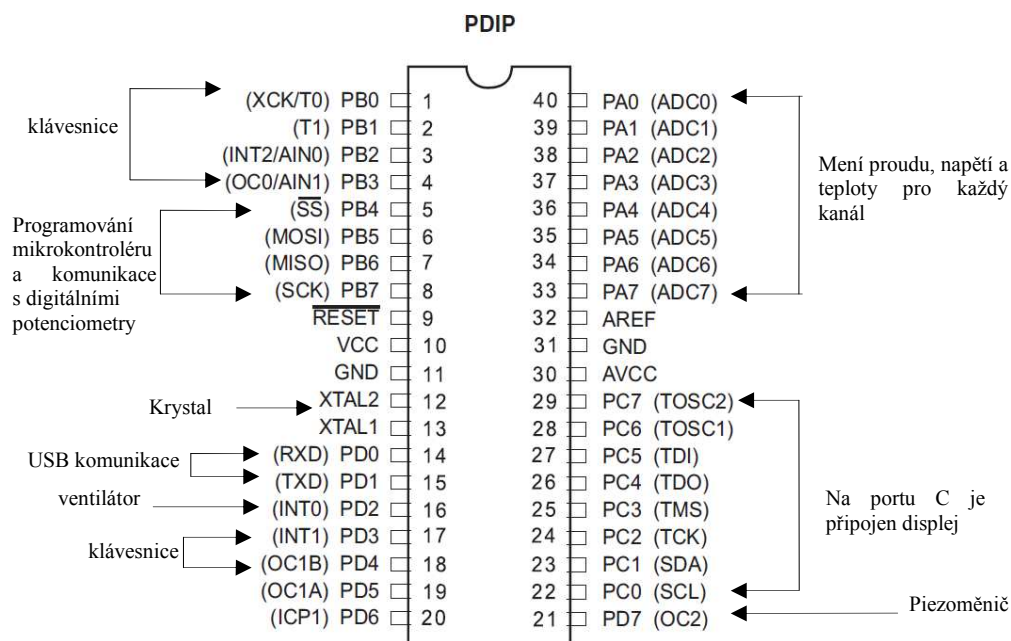
Jak již bylo uvedeno výše, vybraným mikrokontrolérem je ATmega16. Jeho nejdůležitější parametry jsou následující[4]:

- 8mi bitová RISC architektura,
- 131 instrukcí, většina jednotaktová,
- až 16MIPS na 16 MHz,
- 16K Bytů programové paměti,
- 1K Bytů paměti dat,
- vestavěná paměť EEPROM pro uchování dat po odpojení napájení,
- 8mi kanálový A/D převodník s rozlišením 10bitů,
- hardwarová SPI a USART sběrnice.

ATmega16 se vyrábí v 40ti pinovém PDIP pouzdru a 44pinovém TQFP pouzdru. Jelikož nejsou kladeny požadavky na nízký odběr a menší rozměry, postačí použití většího PDIP pouzdra.

Obrázek 4 zobrazuje využití jednotlivých vývodů mikrokontroléru. Napájecí vývody jsou blokovány keramickými kondensátory. Napájecí napětí pro A/D převodník je připojeno přes LC filtr pro snížení rušivých vlivů.

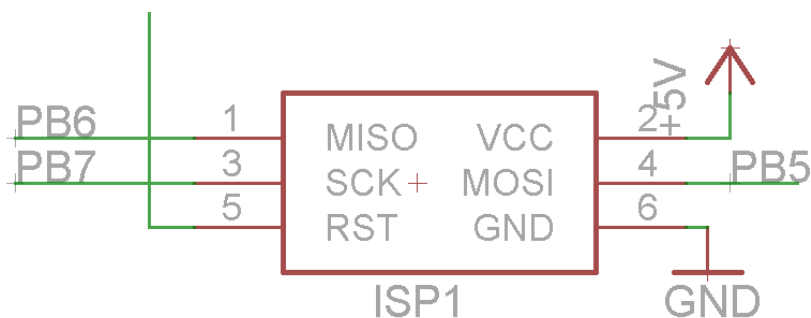




Obr. 4 : Využití vývodů mikrokontroléru (převzato z [4])

### 2.2.1 Programování mikrokontroléru

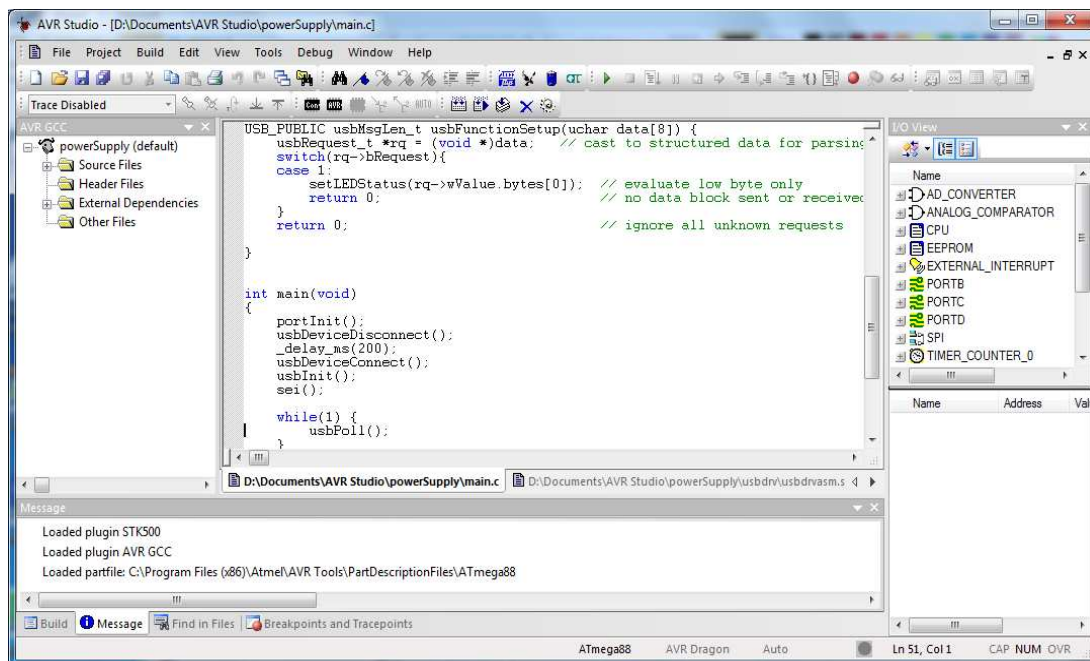
Programování probíhalo pomocí soukromého ISP (In System Programming) programátoru používajícího plugin AVR studia komunikujícího s osobním počítačem pomocí sériového rozhraní. Zdroj je s programátorem propojen pomocí 6ti pinového ISP rozhraní využívajícího vývody MOSI, MISO, SS, VTG a RESET mikrokontroléru. Připojení je znázorněno na obr. 5.



Obr. 5 : Zapojení ISP konektoru

Program byl napsán ve vývojovém prostředí AVR studio 4[5] od firmy ATMEL, které podporuje všechny mikrokontroléry typu AVR. Jeho vzhled je znázorněn na obrázku 6.

Jazykem pro naprogramování firmwaru byl vybrán programovací jazyk C, který má oproti jazyku symbolických adres lepší čitelnost a upravitelnost kódu. Jazyk C má však větší nároky na programovou paměť mikrokontroléru, což ale u tohoto zařízení nevadí.



Obr. 6 : Vzhled vývojového prostředí AVR studio 4 (převzato z [5])

Pro kompilaci jazyka C byl vybrán kompilátor AVR GCC z balíku WinAVR [7]. Tento kompilátor je k dispozici zdarma a je možné ho stáhnout z [8].

## 2.3 LCD displej

Jelikož je potřeba zobrazovat větší množství údajů jako je napětí, proud a teplota obou kanálů, byl proto zvolen LCD displej namísto obvyklých sedmisegmentových displejů. Tím se zjednoduší kód a zmenší se proudový odběr zdroje. LCD displej také potřebuje méně pinů mikrokontroléru.

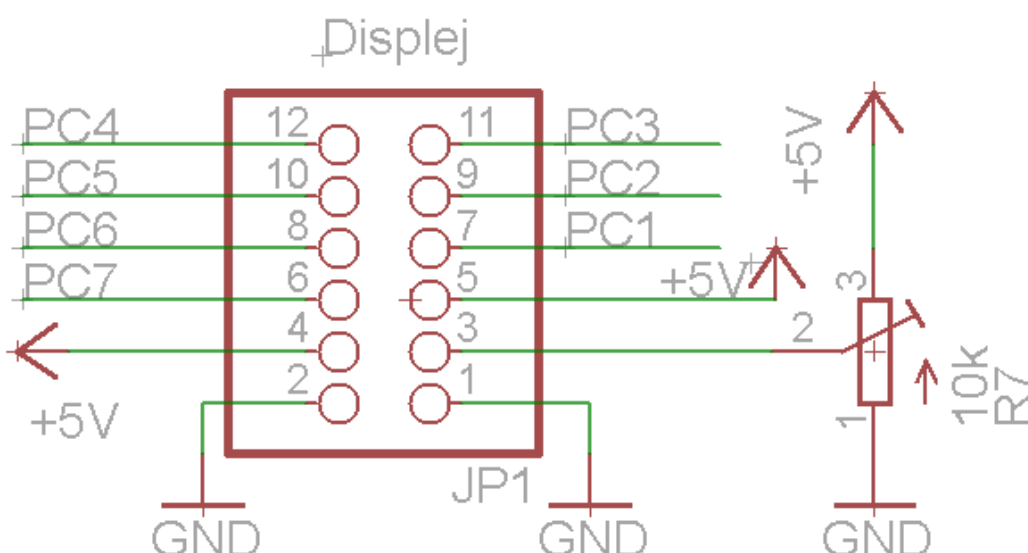
Většina vyráběných displejů je ovládána pomocí řídicího obvodu HD44780 firmy hitachi [9]. Pro komunikaci s mikrokontrolérem byla využita 4bitová datová komunikace, která sice namísto 8mi bitové potřebuje pouze 4 vývody, ale je pomalejší. Displeje se vyrábějí s rozlišením od 1 x 8 znaků až 4 x 40 znaků.

V bakalářské práci je použit displej s rozlišením 4 x 20. Toto rozlišení je pro firmware zdroje dostačující. Programování řídicí aplikace je provedeno pomocí vyššího programovacího jazyka C a je využita knihovna pro LCD displej, jejíž autor je Peter Fleury [10]. Knihovna má předprogramované ovládací funkce jejichž hlavní výčet je v tabulce 2.

Tab. 2: Soupis ovládacích funkcí knihovny pro LCD

Název funkce	Popis funkce
<code>lcd_init();</code>	Inicializace displeje
<code>lcd_clrscr();</code>	Vymazání displeje
<code>lcd_goto (uint8_t pos);</code>	Přesun na pozici pos
<code>Lcd_home();</code>	Přesun na začátek displeje
<code>lcd_putc (char c);</code>	Výpis znaku na displej
<code>lcd_puts (const char *s);</code>	Výpis řetězce znaků na displej

LCD displej je připojen k mikrokontroléru na portu C pomocí sedmi vodičů. K displeji je také připojeno napájení podsvícení a řízení kontrastu pomocí proměnnitelného trimmru. Zapojení konektoru LCD displeje JP1 je znázorněno na obrázku 7.



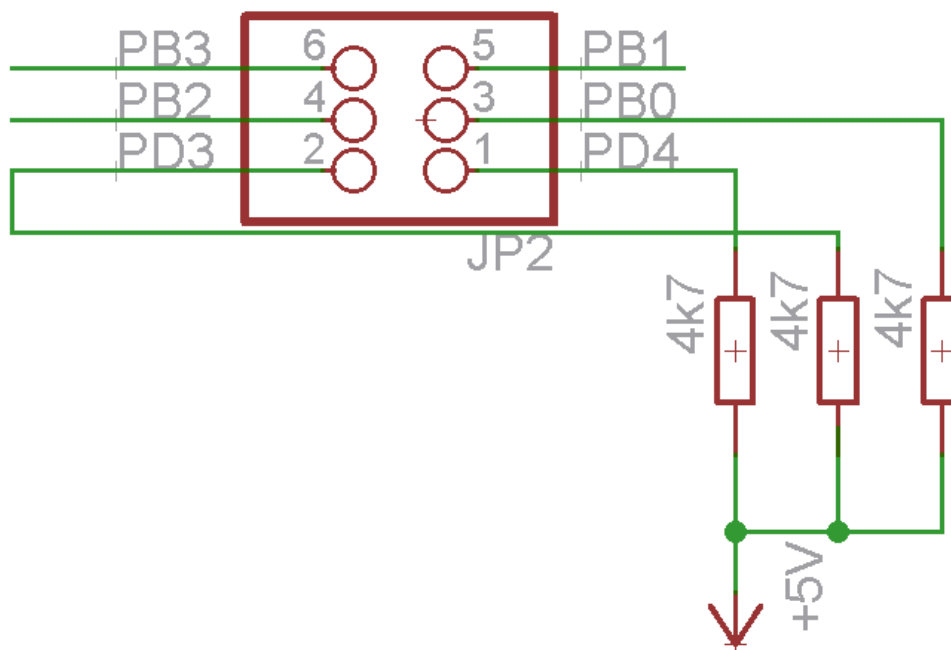
Obr. 7 : Zapojení LCD konektoru.

## 2.4 Maticová klávesnice

Maticová klávesnice je nejvíce rozšířené zařízení pro zadávání vstupních hodnot do mikrokontroléru. Díky jejímu maticovému zapojení rapidně snižuje počet potřebných snímacích vývodů mikrokontroléru. Na 16 jednotlivých tlačítek by bylo potřeba 16 vývodů, kdežto u maticové klávesnice je potřeba jen 8 vývodů. Na druhou stranu je její čtení časově náročnější a potřeba neustále snímat klávesy je nevyhovující pro zařízení, která potřebují vykonávat více operací najednou.

Maticová klávesnice je připojena na PORTB a PORTD. Vývody připojené k řádkům jsou nastaveny jako výstupní a sloupce jako vstupní, které musí mít připojený pull-up rezistor. Z maticové klávesnice se čte tím způsobem, že jeden řádek se nastaví log 0 a postupně se čtou sloupce, zda se na nich objevila log 0 a z čísla sloupce a řádku se zjistí, jaké tlačítko bylo stisknuto a je vyvolána patřičná akce. Vývody PB0, PD3 a

PD4 jsou řádky a vývody PB0, PB1 a PB3 sloupce. Zapojení konektoru klávesnice je zobrazeno na obrázku 8.



Obr. 8 : Zapojení konektoru maticové klávesnice

## 2.5 Měření proudu, napětí a teploty

Měření elektrických veličin u zařízení obsahujících mikrokontrolér spočívá v převedení analogové hodnoty na hodnotu číslcovou. K tomu je použit interní A/D převodník mikrokontroléru.

### 2.5.1 Výstupní napětí

Jelikož mikrokontrolér umí převádět pouze napětí v rozmezí 0 – 5V a na výstupu se pohybuje výstupní napětí do 30V, je potřeba toto napětí snížit na použitelnou hodnotu. Toho lze snadno docílit pomocí děliče napětí tvořeného dvěma odpory. Velikost odporů musí být dostatečně veliká, aby přes ně v klidovém stavu tekla co nejmenší proud.

Zapojení děliče pro získání napětí snímaného A/D převodníkem lze najít v příloze.

### 2.5.2 Měření proudu obvodem INA194

Hodnota protékajícího proudu je ve zdroji velice důležitá veličina, proto musí být její měření přesné a rychlé. Vzhledem k nízké ceně a jednoduchosti se často měří proud pomocí bočníku.

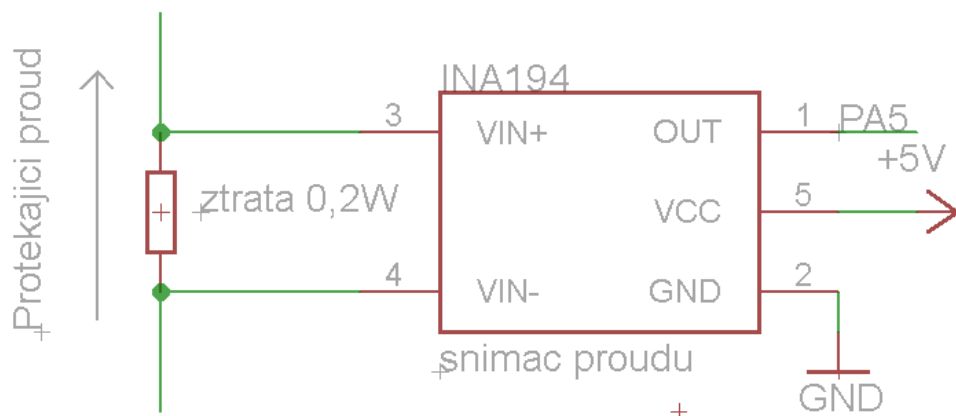
Pro tento účel byl vybrán obvod INA194 [11] od firmy texas instruments. Tento obvod dokáže snímat úbytek napětí z velmi malého odporu. Velikost odporu bočníku tedy bude jen  $0,05\Omega$ . Při maximálním uvažovaném proudu 2A bude na bočníku úbytek napětí pouze 100 mV a odpovídající výkonová ztráta dosáhne pouze 0,2W.

Obvod generuje na svém vývodu OUT napětí, které se dá přepočítat na protékající proud. Výsledné napětí na vývodu  $V_{OUT}$  se potom rovná [11]

$$V_{OUT} = \frac{I_S R_S R_L}{5k\Omega} \text{ z toho} \quad (2.1)$$

$$I_S = \frac{V_{OUT} \cdot 5k\Omega}{R_S R_L}, \quad (2.2)$$

kde  $V_{OUT}$  je napětí na vývodu OUT,  $R_S$  hodnota snímaného odporu a  $R_L$  vnitřní  $100k\Omega$  odpor. Zapojení obvodu je znázorněno na obrázku 9.

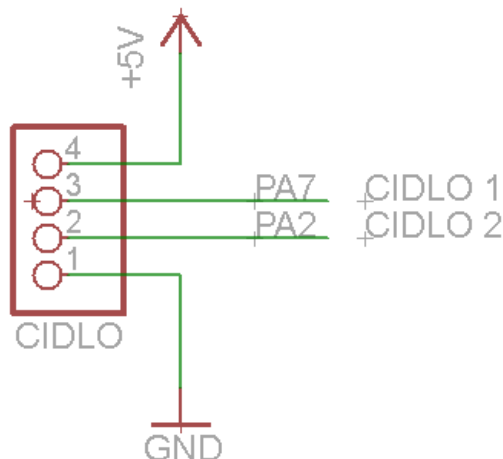


Obr. 9 : Zapojení obvodu INA194

### 2.5.3 Měření teploty obvodem LM35DZ

Protože na srážecích tranzistorech a lineárních stabilizátorech vzniká velký ztrátový výkon, je potřeba kontrolovat ve zdroji teplotu. K tomuto účelu byl vybrán integrovaný obvod firmy National Semiconductor LM35DZ [12]. Jeho výstupní napětí je lineárně závislé na teplotě. Platí u něho závislost  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

Tento typ teplotního čidla byl vybrán, jelikož mikrokontrolér má dostatek volných kanálů A/D převodníku. Použití analogového čidla velmi usnadní výsledný ovládací program pro mikrokontrolér, protože není potřeba implementace komunikačních protokolů a jiných potřebných procedur. LM35DZ také nepotřebuje žádné další součástky ani kalibraci nastavení a může pracovat s napájecím napětím od 4V do 30V. Klidový proud se pohybuje kolem 60uA[12]. Zapojení konektoru pro dvě teplotní čidla je zobrazeno na obrázku 10.



Obr. 10: Zapojení konektoru teplotních čidel.

## 2.6 Lineární regulátor L200CV

Lineární regulátor jako je L200 je zařízení, které upravuje velikost napětí pomocí aktivních nebo pasivních součástek. V podstatě se chová jako proměnný odpor, protože neustále upravuje velikost výstupního napětí na konstantní úroveň pomocí odporového děliče.

Použití lineárních stabilizátorů v napájecích obvodech velmi zjednodušuje práci obvodů dříve dělaných pomocí diskretních součástek. Integrovaní regulačních a ochranných obvodů na jeden čip vede také k úspoře místa a nákladů u napájecích zdrojů.

L200 je pozitivní proměnný napěťový regulátor, který obsahuje hardwarovou proudovou pojistku, schopný pracovat v rozmezí napětí 2,85V až 36V a dodávat proud do 2A. Obvod také obsahuje tepelnou ochranu, která při zhruba 150 °C obvod vypne a zachrání součástku. Vyrábí se ve dvojím provedení: Pentawatt a TO3. V práci je použito pouzdro pentawatt [13].

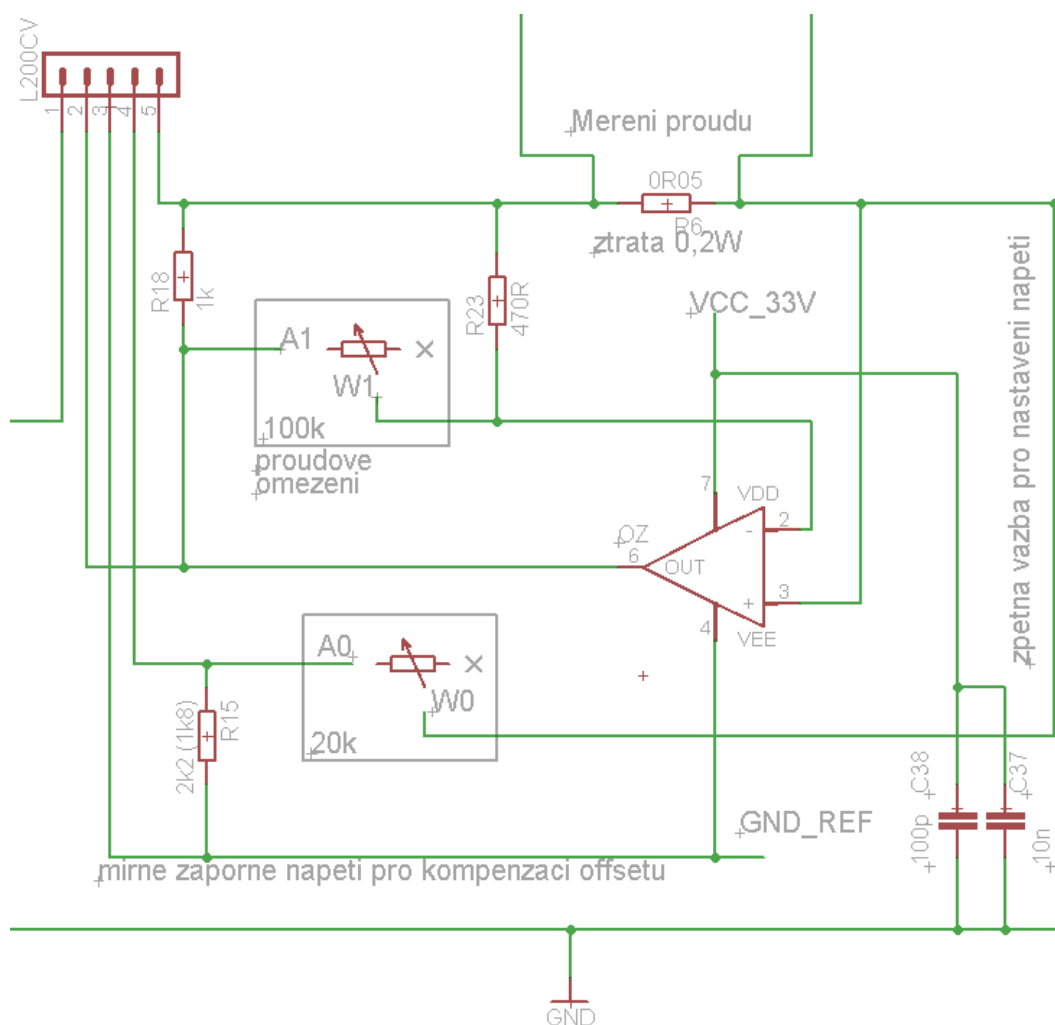
Zapojení regulace napětí a proudu lze vidět na obrázku 11. Pro regulační smyčku napětí platí vztah [13]

$$V_{out} = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right), \quad (2.3)$$

kde  $V_{out}$  je napětí na výstupu,  $V_{ref}$  je referenční napětí uvnitř obvodu, které má hodnotu 2,75V,  $R1$  je odpor 2k2Ω a  $R2$  představuje nastavenou hodnotu odporu

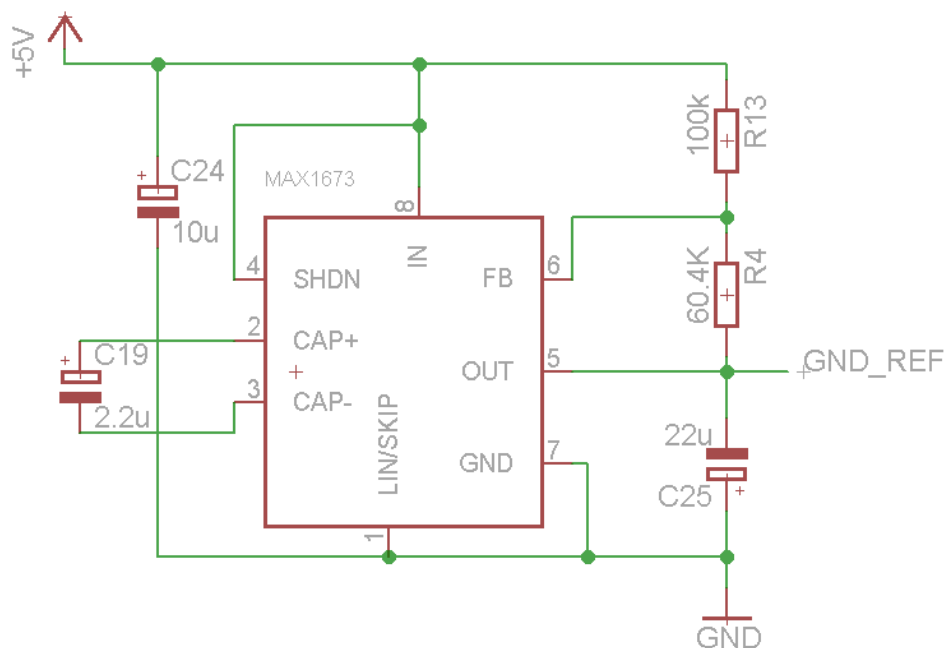
digitálního potenciometru.

Funkci proudové pojistky obstará operační zesilovač. Jako zdroj vstupního signálu je zde R6, zpětnou vazbu tvoří dělič A1 a R23. Pojistka se aktivuje, pokud je napětí na pinu 2 o 0,45V menší, než na pinu 5. Nastavení sepnutí operačního zesilovače tedy ovlivňuje digitální potenciometr zapojený ve zpětné vazbě. Různé nastavení pojistky bylo provedeno měřením.



Obr. 11 : Zapojení regulace napětí a proudové pojistky

Toto zapojení také umožňuje přivedení malého záporného napětí na zemnicí svorku vývodu Vee operačního zesilovače a GND obvodu L200, o které klesne výstupní napětí. Tím se dosáhne možnosti regulace od 0 do 30V. K vytvoření záporného napětí postačí nábojová pumpa MAX1673[14]. Zapojení pumpy je zobrazeno na obrázku 12. Odpovídá základnímu zapojení zobrazeném v datovém listu pro vytvoření záporného napětí.



Obr. 12 : Zapojení obvodu MAX1673 pro vytvoření záporného napětí

## 2.7 Digitální potenciometr AD5293

K nejčastějšímu provedení regulovatelných zdrojů s mikrokontrolérem patří řízení výkonového tranzistoru. V této práci je však regulace provedena změnou referenčního napětí lineárního stabilizátoru L200 pomocí digitálních potenciometrů.

Digitální potenciometry, jak už název napovídá, jsou v podstatě elektronicky řízená náhrada mechanických potenciometrů. Oproti mechanickým potenciometrům však mají řadu výhod. Dá se u nich například ve velmi krátkém čase nastavit přesná hodnota odporu jen s jedním procentem chyby, je u nich možnost zpětně přechyst polohu jezdce a mají menší teplotní koeficient. Digitální potenciometry komunikují s mikrokontrolérem pomocí SPI sběrnice.

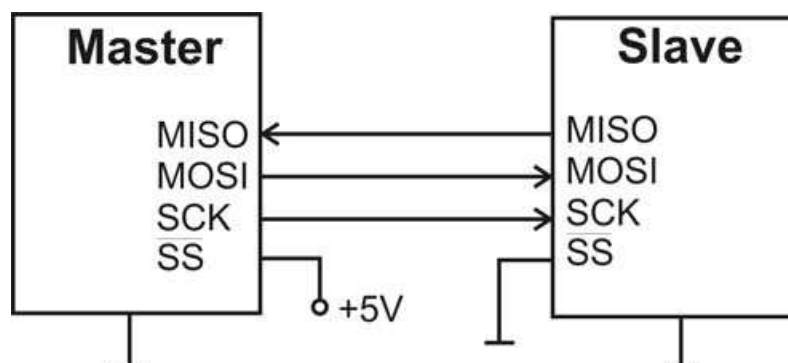
V zapojení s L200 pracují ve zpětné vazbě, kde na nich může dosáhnout napětí až 30V. Proto bylo potřeba vybrat digitální potenciometry schopny pracovat při tak vysokém napětí. Tento požadavek například splňuje obvod AD5293 od firmy Analog Devices [15].

Obvod AD5293 je jednobaný digitální potenciometr s rozlišením 1024 kroků. Zařízení je schopno pracovat na vysokém napětí od 21V do 33V. Obvod má garantovanou maximálně jedním procentem chybu, díky čemuž se dá použít na velice přesné nastavení výstupního napětí zdroje. AD5293 se vyrábí ve 14ti pinovém velmi malém pouzdru TSSOP. Je schopen pracovat v teplotách od -40° do 105°.



### 2.7.1 SPI sběrnice

AD5293 se řídí pomocí sériového periferního rozhraní (SPI). Je to velice často používané komunikační rozhraní mezi mikrokontrolérem a integrovaným obvodem. Většina mikrokontrolérů má hardwarově implementovanou SPI sběrnici, což ji dělá ideálním komunikačním prostředkem. Typické zapojení dvou obvodů je vidět na obrázku 13.



Obr. 13: typické zapojení SPI sběrnice(převzato z [1])

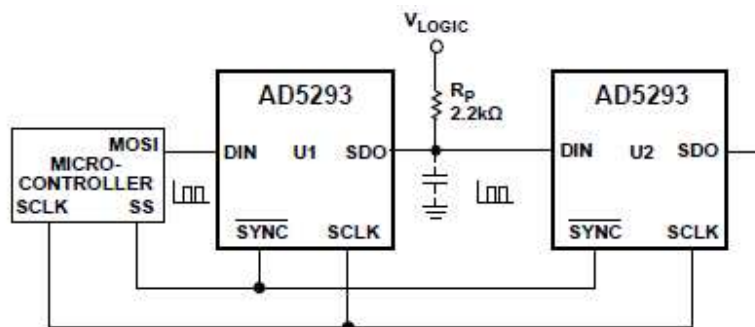
Je to plně duplexní komunikace realizována třemi vodiči jmenovanými MISO, MOSI a SCK. Komunikace probíhá mezi dvěma zařízeními definovanými jako MASTER a SLAVE. Mimo již jmenované tři vodiče, sběrnice navíc používá vývod SS (slave select) k zahájení komunikace nebo k výběru zařízení, se kterým se má komunikovat [16]. Tabulka 3. popisuje funkce jednotlivých vývodů SPI sběrnice.

Tab. 3 : Funkce jednotlivých pinů SPI sběrnice

Název vývodu	Funkce
SS	Výběr Slave obvodu
MOSI	Vysílání Master, Příjem Slave
MISO	Vysílání Slave, Příjem Master
SCK	SPI hodinový signál

Při komunikaci s více obvody se pro ušetření potřebných vývodů používá zapojení zvané Daisy Chain [17]. Vzhled zapojení je na obrázku 14. Při tomto zapojení je vývod SS (SYNC) společný všem SLAVE obvodům, ty jsou zřetězeny za sebou a při komunikaci posílají přijatá data dál dalšímu obvodu. Komunikace tak trvá déle při použití dvou obvodů dvojnásobně, při třech trojnásobně atd. Pro řízení zdroje lze bezpečně tolerovat toto delší zpoždění v komunikaci procesoru s digitálními potenciometry.

Zapojení obsahuje 4 digitální potenciometry, proto se ušetří až tři vývody mikrokontroléru. AD5293 má vývody kompatibilní s SPI rozhraním. Jsou to DIN, SDO, SYNC a SCLK.



Obr. 14: Daisy chain zapojení(převzato z [15])

### 2.7.2 Zápis a čtení z AD5293

Poloha jezdce digitálního potenciometru je dána kontrolním registrem RDAC. Tímto registrem lze donekonečna nastavovat jezdce potenciometru a řídit tak nastavení L200. Na libovolnou pozici ho lze nastavit nahráním šestnáctibitového datového slova skrze SPI rozhraní. AD5293 umožňuje zápis do kteréhokoli svého registru.

Šestnáctibitové datové slovo, poslané na vstupní vývod potenciometru se musí skládat ze dvou nepoužitých bitů, nastavených na 0, následované čtyřmi kontrolními bity pro rozlišení příkazu a 10ti datovými bity nahanými přímo do RDAC registru. Formát jednotlivých příkazů je zobrazen v tabulce 4, kde C3-C0 označují kontrolní bity, D8-D0 datové bity určující polohu jezdce potenciometru a nastavení kontrolního registru. X značí stav, kdy může být log 0 i log 1 [15].

Tab. 4: Tabulka příkazů AD5293(převzato z [13])

C3	C2	C1	C0	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Operace
0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	NOP, žádná funkce
0	0	0	1	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Zápis dat do RDAC
0	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Čtení dat z RDAC registru na pinu SDO
0	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Reset, jezdec na střed
0	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	D2	D1	X	Zápis kontrolního registru
0	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Čtení kontrolního registru z pinu SDO
1	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	D0	Úsporný režim

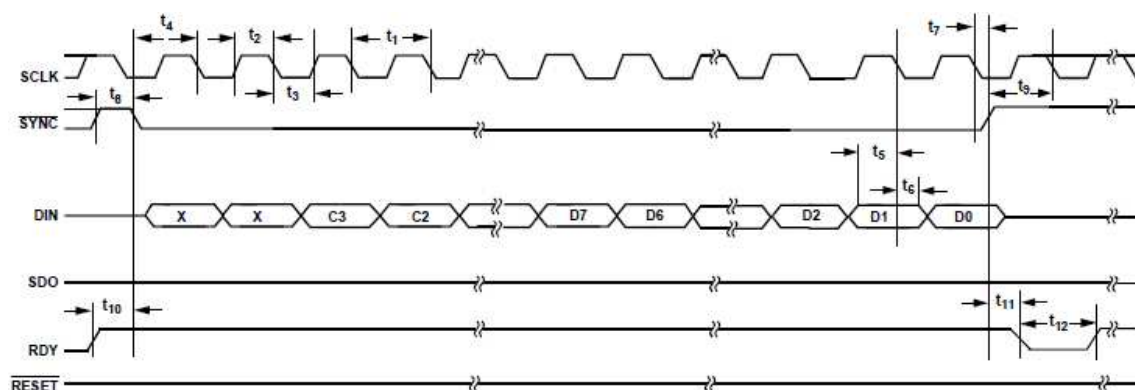
AD5293 je po zapnutí napájení zablokován proti zápisu a čtení. Z toho důvodu se musí jako první zapsat 1 do bitu C1 v kontrolním registru.. Odblokování potenciometru je znázorněno v tabulce 5, která také názorně ukazuje stavy na vývodu SDO, jenž v zapojení Daisy chain posunuje příkaz dál do následujícího obvodu.

Tab. 5: Odblokování potenciometrů

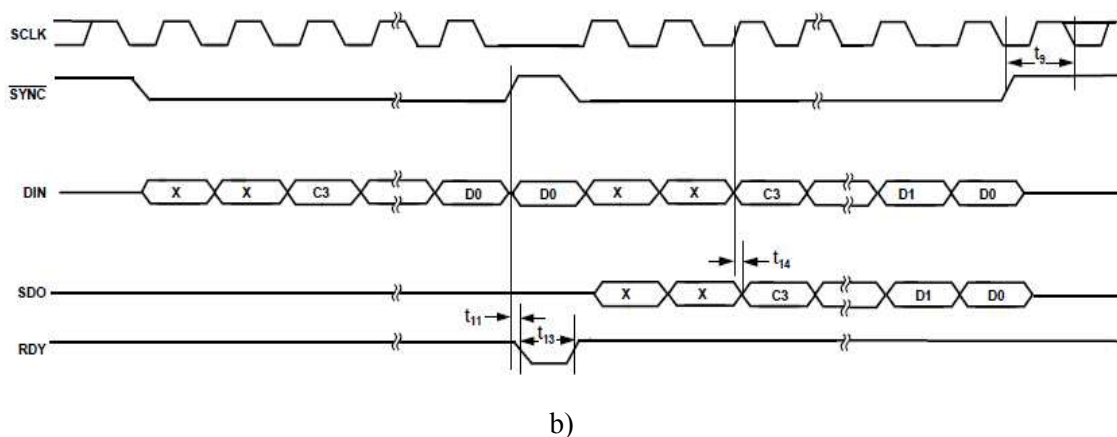
DIN	SDO	Akce
0x1802	0xFFFF	Odblokovací příkaz
0x0500	0x1802	Pohyb jezdcem potenciometru

Pro začátek komunikace se musí přivést vývod SYNC na nulu. Následně se musí odeslat přesně násobky 16ti bitů, aby byl signál správně dekodován. Na konci komunikace se nastaví vývod SYNC na log. 1 a obvod AD5293 provede příslušné operace.

Časový diagram komunikace s potenciometrem je zobrazen na obrázku 15. Bity na vývodu DIN jsou vždy zapsány na sestupné hraně hodinového signálu SCLK.



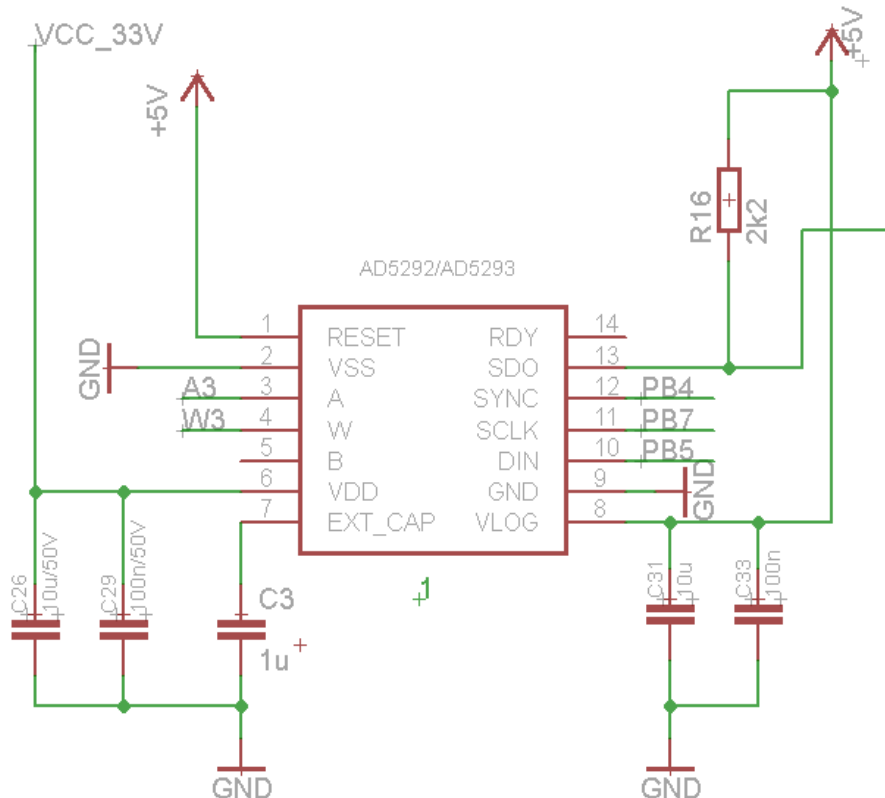
a)



Obr. 15: Časový diagram čtení a zápisu AD5293, a) zápis, b) čtení, CPOL = 0, CPHA=1 (převzato z [15])

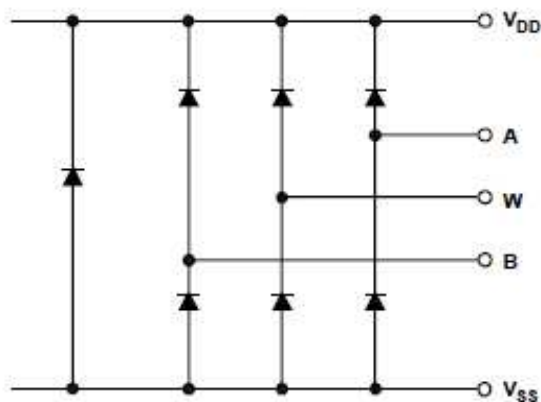
AD5293 pracuje jako proměnný rezistor. To znamená, že má zapojeny pouze dva vývody: A a jezdec W. Nezapojený vývod je ponechán nezapojen, nebo se připojí k jezdcí.

Odpor mezi terminálem A a B je 20kΩ. Digitálně nastavený odpor mezi terminálem A a W určuje registr RDAC. Vzhled zapojení potenciometru je na obrázku 16. Vývod SDO obsahuje tranzistor FET s otevřeným kolektorem, je zde proto potřeba připojit pull-up rezistor s hodnotou 2k2Ω na napájecí napětí. Kondenzátory slouží k filtraci napájení.



Obr. 16: Zapojení digitálního potenciometru

Napájecí vývody  $V_{DD}$  a  $V_{SS}$  určují hranici napětí možného připojit na svorky A, W a B. Signály převyšující napájecí napětí na těchto vývodech, jsou svedeny pomocí vnitřních diod jak ukazuje obrázek 17.



Obr. 17 : Vnitřní topologie vývodů  $V_{DD}$ ,  $V_{SS}$ , A, B a W (převzato z [15])

Rovnice udávající výsledný odpor mezi terminálem A a W je dána následujícím vztahem [15]

$$R_{WA}(D) = \frac{1024 - D}{1024} \cdot R_{AB}, \quad (2.4)$$

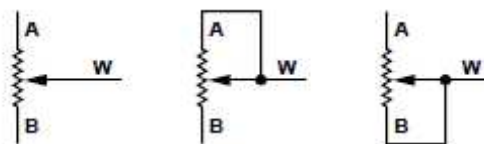
kde  $D$  je decimální hodnota zapsaná do RDAC registru,  $R_{AB}$  je hodnota celkového odporu potenciometru ( $20k\Omega$ ).

Pro zjištění odporu mezi svorkami W a B je vztah pozměněn na následující rovnici

$$R_{WB}(D) = \frac{D}{1024} \cdot R_{AB}, \quad (2.5)$$

kde  $D$  je decimální hodnota zapsaná do RDAC registru,  $R_{AB}$  je hodnota celkového odporu potenciometru ( $20k\Omega$ ).

Pro lepší pochopení je zobrazena architektura jezdce na obrázku 18.



Obr. 18 : Architektura vývodů A, B a W (převzato z [13])

## 2.8 Rozšiřující periferie

Rozšiřující periferie zapojení slouží ke zvukové a optické signalizaci zařízení. Jedná se o piezoelektrický měnič pro generování varovného signálu a indikaci stisku tlačítek, ovládání ventilátoru pomocí spínacího tranzistoru a dvou LED pro indikaci zkratu na výstupu. Zapojení periférií je zobrazeno na obrázku 19.

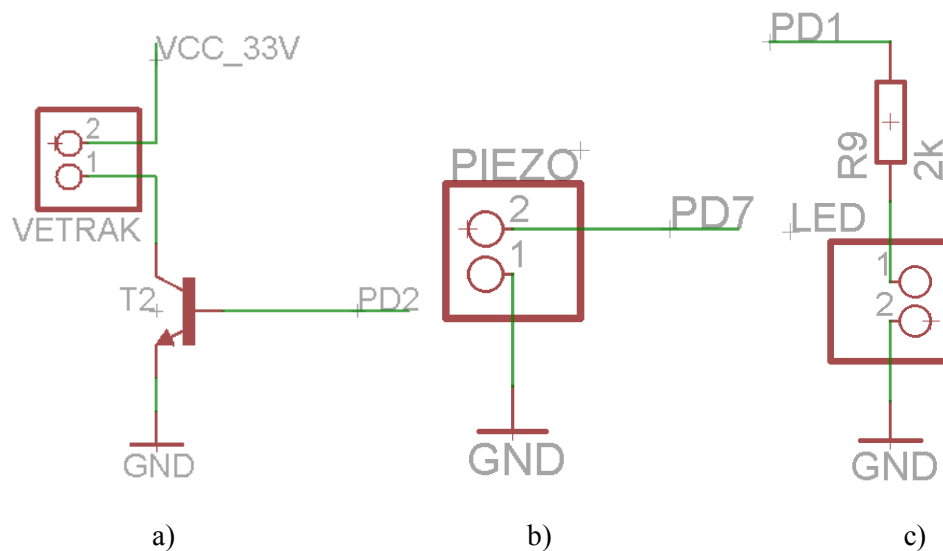
Všechny periferie spíná mikrokontrolér. Pro rozsvícení LED a sepnutí tranzistoru se musí na vývodu mikrokontroléru objevit log 1. Pro možnost generování zvuku je piezoelektrický měnič připojen na vývod PD7, na kterém se nachází výstup PWM signálu interního časovače mikrokontroléru.

Výpočet předřadného odporu LED diody při log 1 na vývodu PD1 mikrokontroléru je proveden pomocí Ohmova zákona a vypadá následovně

$$R_{led} = \frac{5 - U_{led}}{I_{max}}, \quad (2.6)$$

kde se vychází z poznatku, že maximální proud diodou  $I_{max}=2\text{mA}$  a úbytek na diodě dosahuje hodnoty  $U_{led}=1,7\text{V}$ . Z toho vychází předřadný odpor zhruba  $2\text{k}\Omega$ .

Spínacím tranzistorem poteče maximální proud  $80\text{mA}$ , proto stačí jakýkoliv spínací tranzistor. V práci je zvolen tranzistor BD135-10.

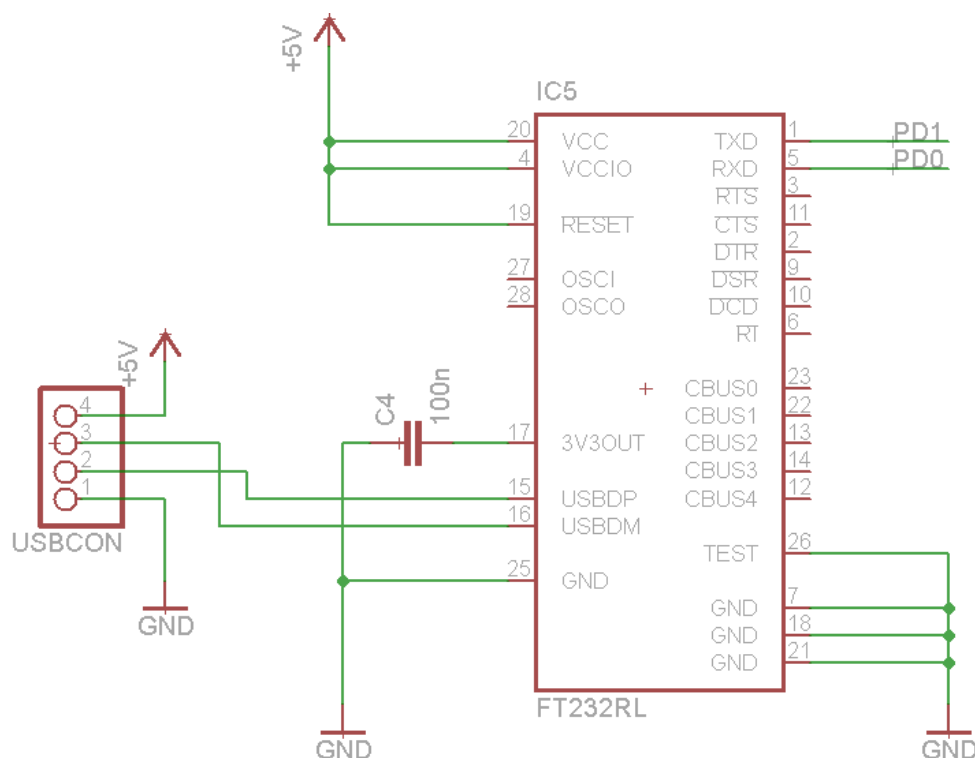


Obr. 19: a) spínání ventilátoru b) zapojení piezoelektrického měniče c) zapojení indikační LED

## 2.9 USB komunikace přes FT232RL

Zdroj obsahuje také čip FT232RL pro komunikaci s počítačem přes sériovou linku. Ten převádí sériové rozhraní USART, které je implementované v mikrokontroléru, na USB rozhraní.

Jedná se ovšem pouze o periférii pro možnost pozdějšího rozšíření zdroje o komunikaci s počítačem. Bakalářská práce tuto komunikaci neobsahuje. Čip je zapojen podle doporučeného zapojení v katalogovém listu [18] na obrázku 20.



Obr. 20 : Zapojení obvodu FT232RL

## 2.10 Napájecí část

Pro možnost napájení zdroje ze sítě je potřeba zahrnout do návrhu usměrňovač s filtrem a stabilizátorem. Ten je realizován na samostatné desce.

K dispozici byl transformátor se dvojitým sekundárním vinutím. Jelikož obě sekundární vinutí mají výstupní napětí  $U_{ef} = 29V/2A$ , z čehož po usměrnění a filtraci vznikne stejnosměrné napětí větší než 40V, musí se výstupní napětí srazit srážecími členy se zenerovou diodou a tranzistorem. Důvodem toho je, že maximální vstupní napětí do lineárních stabilizátorů L200 nesmí překročit 40V.

K usměrnění síťového napětí byly použity usměrňovací můstky B250C4000. Filtrační kondensátory byly použity s hodnotou 10000 uF. Podle rovnice [1]

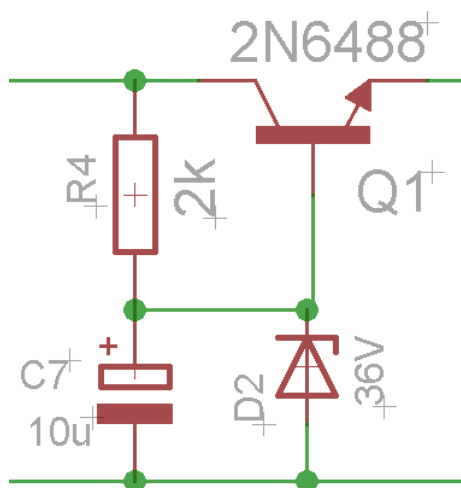
$$C = \frac{300 \cdot I_{OUTmax}}{p \cdot U_{OUT}}, \quad (2.7)$$

kde  $C$  je kapacita počítaného kondensátoru,  $I_{OUTmax}$  je stejnosměrný výstupní proud v mA,  $p$  je maximální zvlnění výstupního napětí v procentech a  $U_{out}$  je stejnosměrné výstupní napětí ve voltech.

Při parametrech zdroje, kdy  $I_{OUTmax}$  je 2A,  $p$  je 3% a  $U_{OUT}$  je 41V, stačí použití kondensátorů s minimální kapacitou 5500 uF.

Pro snížení stejnosměrného napětí vzniklého na filtračních kondensátorech, byl zvolen srážecí obvod se 36V zenerovou diodou a výkonovým tranzistorem.

Zapojení bylo převzato z [13]. Při volbě tranzistoru se musí dávat pozor na vyzářenou energii. Aby nedošlo ke zničení tranzistoru, musí se nacházet v bezpečné pracovní zóně. Zapojení je zobrazeno na obrázku 21.



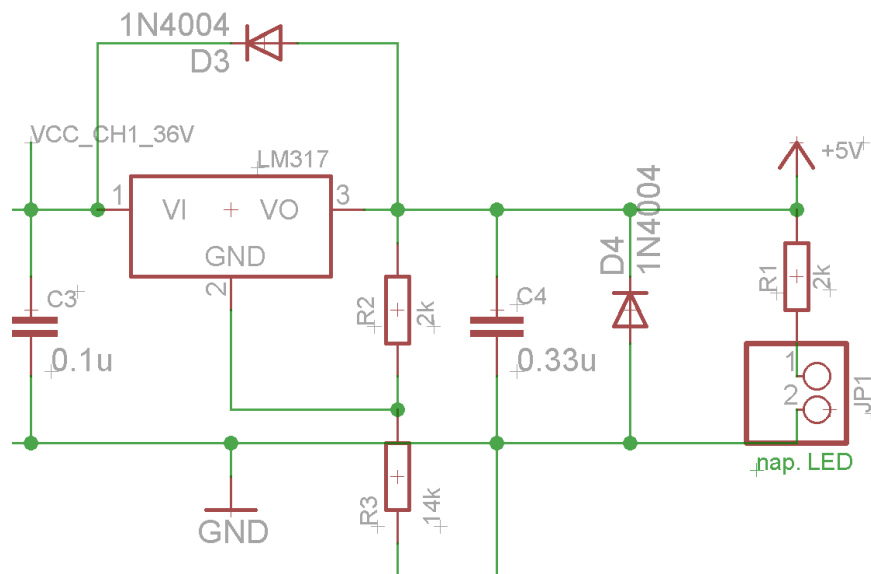
Obr. 21: Zapojení srážecího členu se zenerovou diodou a tranzistorem

Pro řídicí obvody je za pomoci obvodu LM317 vytvořeno napájecí napětí 5V. Výpočet odporů LM317 je podle vztahu [19]

$$V_{OUT} = 1.25 \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right),$$

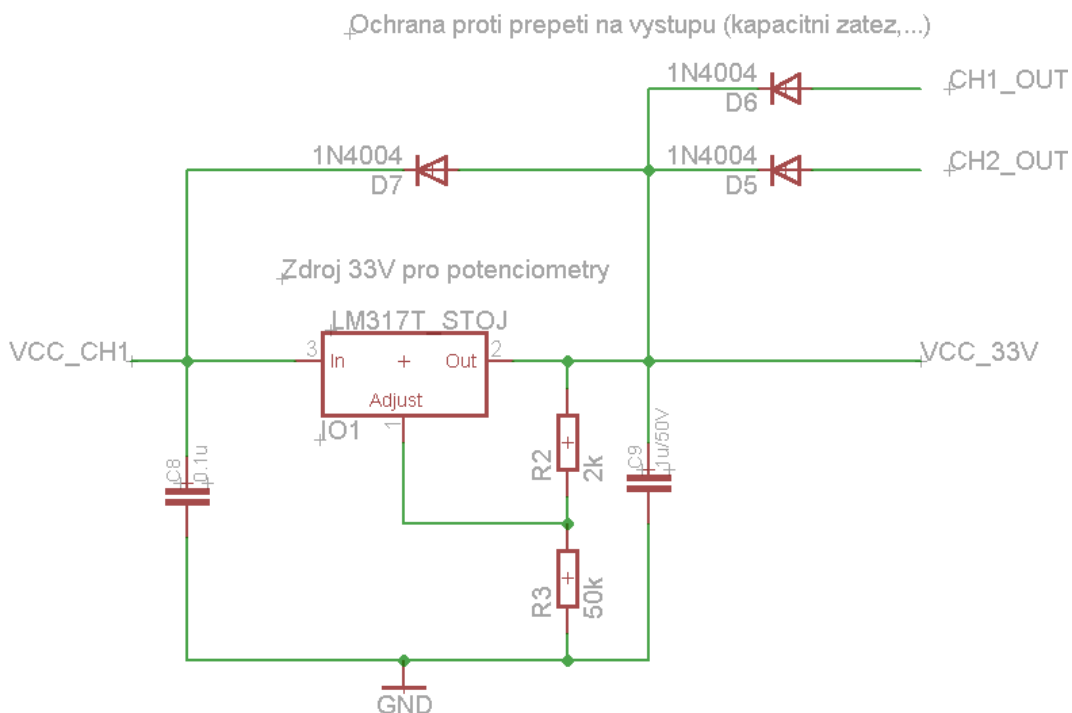
kde  $V_{OUT}$  je požadované napětí na výstupu a  $R2/R1$  poměr použitých odporů. Pro menší klidový proud je vhodné zvolit větší hodnoty. V práci jsou zvoleny odpory:  $R1=2k$ ,  $R2=14k$ . Zapojení s ochrannými diodami je zobrazeno na obrázku 22.





Obr. 22 : Zapojení stabilizátoru LM317 a LED signalizující zapnutí napájení

Stejným způsobem se zvolí odpory u dalšího stabilizátoru, a to stabilizátoru pro napájení digitálních potenciometrů a ventilátoru. Je zde také připojena jednoduchá ochrana proti přepětí na výstupu realizována usměrňovacími diodami 1N4004 připojenými na výstup zdroje. Zapojení je zobrazeno na obrázku 23. Toto zapojení se nachází na řídicí desce zdroje.



Obr. 23 : Zapojení přepět'ové ochrany společně se stabilizátorem napětí pro ventilátor a digitální potenciometry

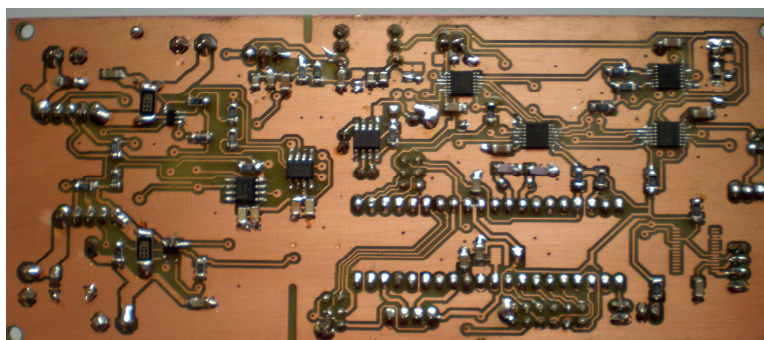
## 3 REALIZACE A OŽIVENÍ

Tato kapitola obsahuje postup realizace a oživení zdroje včetně naměřených hodnot. Je zde také popsán řídicí program pro mikrokontrolér.

### 3.1 Popis konstrukce

Zdroj je umístěn do kovové krabičky U-KK07-355 zakoupené v GM electronic. Rozměry krabičky jsou 350 x 70 x 217 mm a je tvořena dvěma rozebíratelnými díly. Krabička je z bezpečnostních důvodů vodivě spojena se zemnicím vodičem sítě. Kovová krabička také pomáhá k obousměrnému elektromagnetickému stínění zdroje.

Zdroj tvoří dvě desky plošného spoje – deska zdroje a deska usměrňovače. Deska s usměrňovačem poskytuje napájení pro část řídicí. Součástky, které potřebují chlazení, jsou pomocí drátků vyvedeny na chladiče umístěné blízko ventilátoru. Je tak dosaženo co možná nejlepšího chlazení součástek. Jedná se dva lineární stabilizátory L200 a dva výkonové tranzistory 2N6488. Při návrhu desky zdroj byl kladen důraz na oddělení výkonové a řídicí části společně s vytvořením co nejširších výkonových cest. Deska plošných spojů a celkový vzhled jsou zobrazeny na obrázcích 24 a 25.



b)

Obr. 24 : Deska plošného spoje zdroje



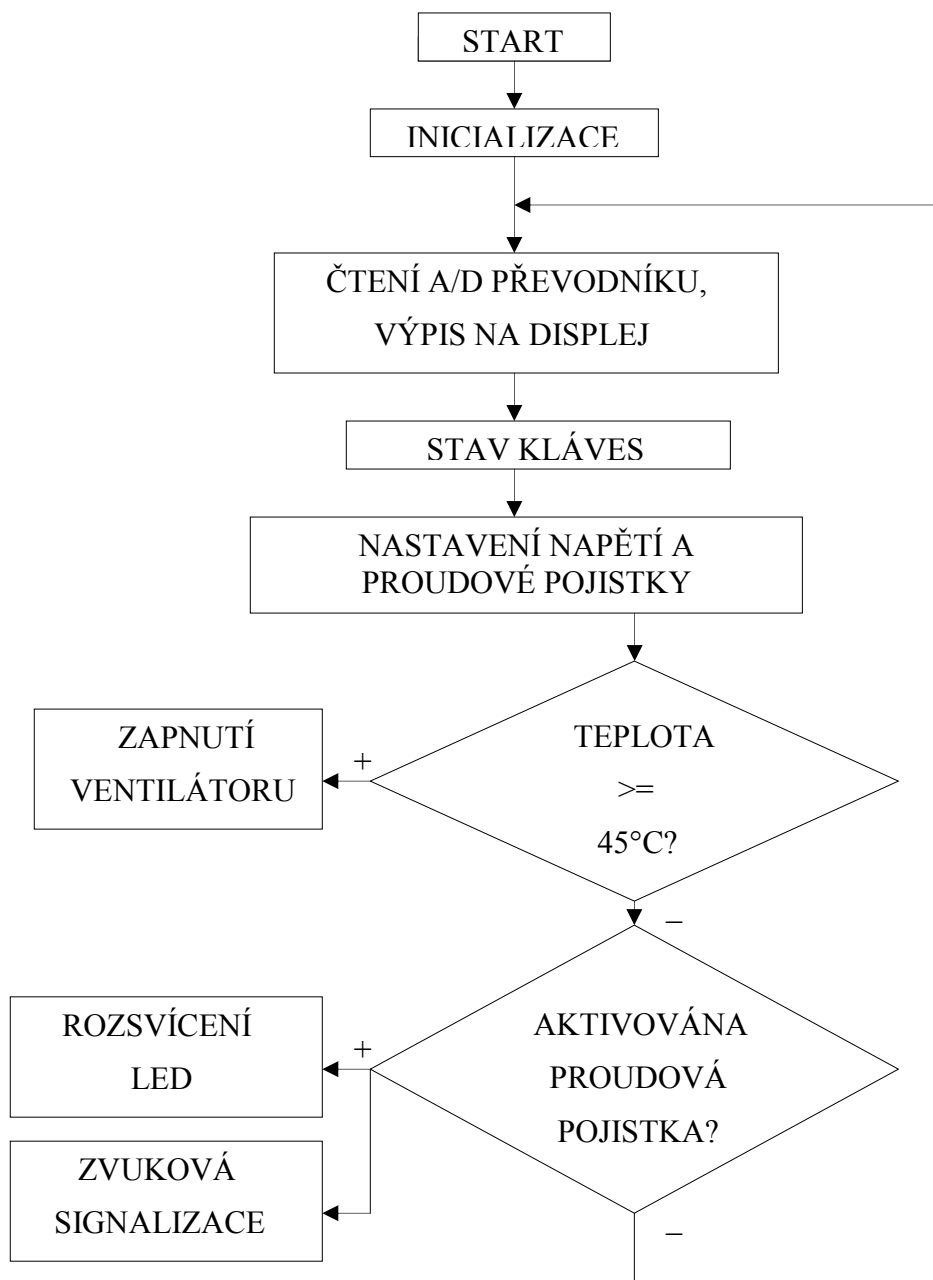
Obr. 25 : Celkový vzhled zařízení

### 3.2 Popis ovládacího programu

Ovládací program slouží k řízení celého zařízení a výpisu informací na displej. Zajišťuje také správný výpočet hodnot z čidel změřených pomocí A/D převodníku a snímá stav kláves na klávesnici. Následující popis zobrazuje přehledně postup základních operací programu. Vývojový diagram je zobrazen na obrázku 26. Program začíná přivedením napájecího napětí k mikrokontroléru.

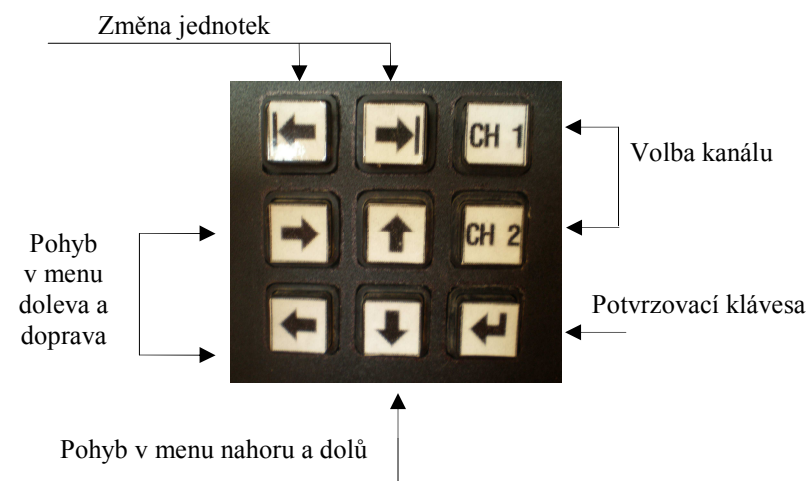
- Deklarace proměnných,
- Nastavení portů - definice jednotlivých pinů, vstupní, výstupní atd.
- Inicializace displeje – 4 bitová komunikace, softwarový reset, smazání displeje.
- Inicializace A/D převodníku – nastavení registrů, kanálu, referenčního napětí a předděličky.
- Inicializace SPI rozhraní – nastavení předděličky, master módu a příslušných registrů.
- Výpis uvítacích informací na displej
- Snímání stavu kláves
- Nastavení digitálních potenciometrů
- Výpis stavu čidel a nastavení na displej

Kompletní program lze najít na přiloženém CD.



Obr. 26 : Vývojový diagram řídicího programu

### 3.2.1 Ovládání



Obr. 27: Popis funkce tlačítek

Obrázek 27 popisuje funkce jednotlivých tlačítek. Klávesy CH1 a CH2 budou volit aktuálně ovládaný kanál. Šipky změna jednotek aktuálně nastavovanou hodnotu, mezi něž patří napětí a proudová pojistka. Zbylé 4 šipky k pohybu v menu zařízení a nastavování hodnot na výstupu.

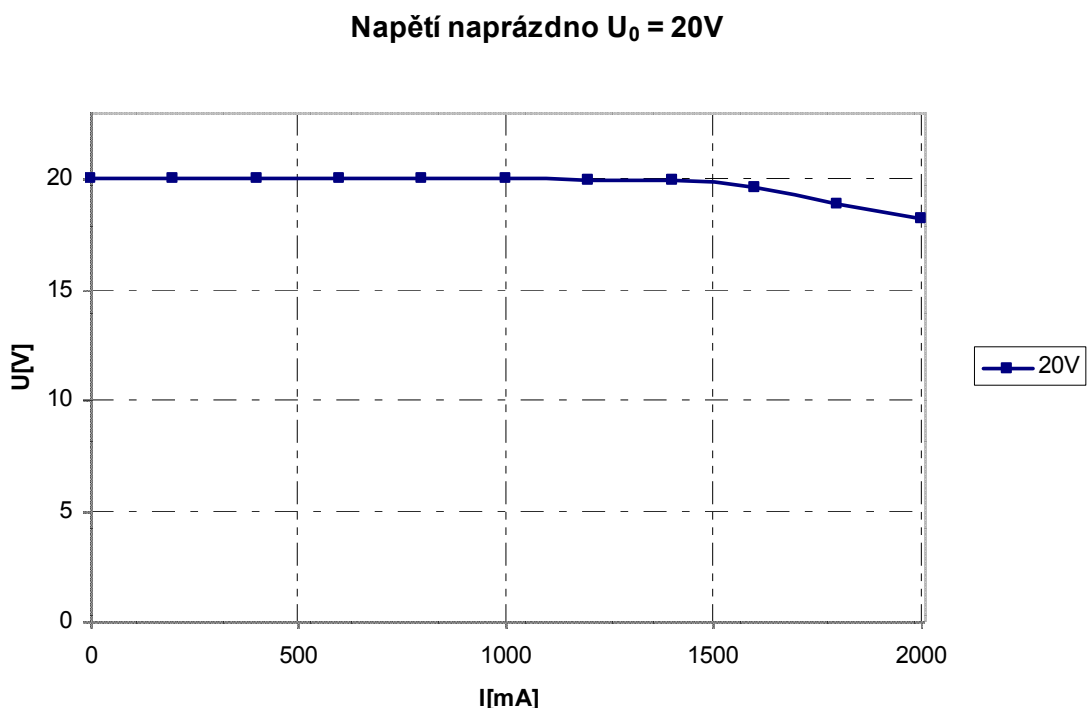
## 3.3 Oživení a měření vlastností

Sestavený zdroj byl vyzkoušen a je plně funkční. Následující text rozebírá naměřené vlastnosti zdroje.

### 3.3.1 Zatěžovací charakteristika

Často měřenou vlastností zdrojů bývá zatěžovací charakteristika. Zatěžovací charakteristika zdroje je závislost napětí na svorkách zdroje na odebíraném proudu. U ideálního zdroje by měla přímka zůstat rovná do nekonečně velkého proudu. Takový zdroj však neexistuje.

Rychlost klesání přímky určuje vnitřní odpor zdroje. Platí, že čím menší vnitřní odpor zdroje, tím lepší vlastnosti zdroj má. Změřená zatěžovací charakteristika je zobrazena na obrázku 28.



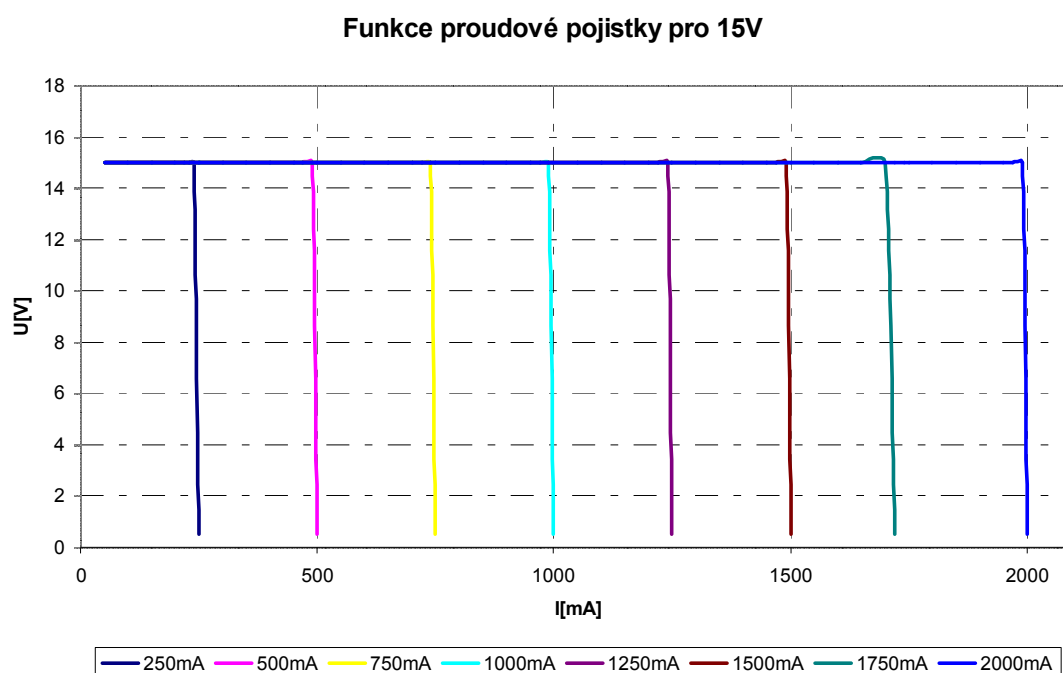
Obr. 28 : Zatěžovací charakteristika zdroje

Odebíraný proud zdroje nemá zprvu na napětí na svorkách žádný vliv, avšak po dosažení proudu 1500mA přestane obvod L200 stabilizovat. Regulátory přestanou stabilizovat, pokud na jejich vstupu není napětí větší minimálně o 1,5V než na výstupu. Příčinou bude zřejmě transformátor, který je sice dělaný na proud maximálně 2A, ale z naměřených hodnot se tato příčina jeví nejpravděpodobnější. Další důvod by mohla být chyba ve firmwaru.

### 3.3.2 Funkce proudové pojistky

Jako další byla změřena funkce proudové pojistky. Nastavení digitálního potenciometru tak, aby fungovala proudová pojistka na určené hodnoty proudu, bylo provedeno pomocí měření.

Při měření pojistky byl zvedán proud zátěží při nastaveném výstupním napětí 15V. Jak je patrné z obrázku 29. Na výstupních svorkách zdroje při dosažení nastaveného proudu pojistky klesne napětí na 0,5V, což má za následek i pozdější snížení proudu. Změnou firmwaru lze upravovat aktivační proud pojistky.



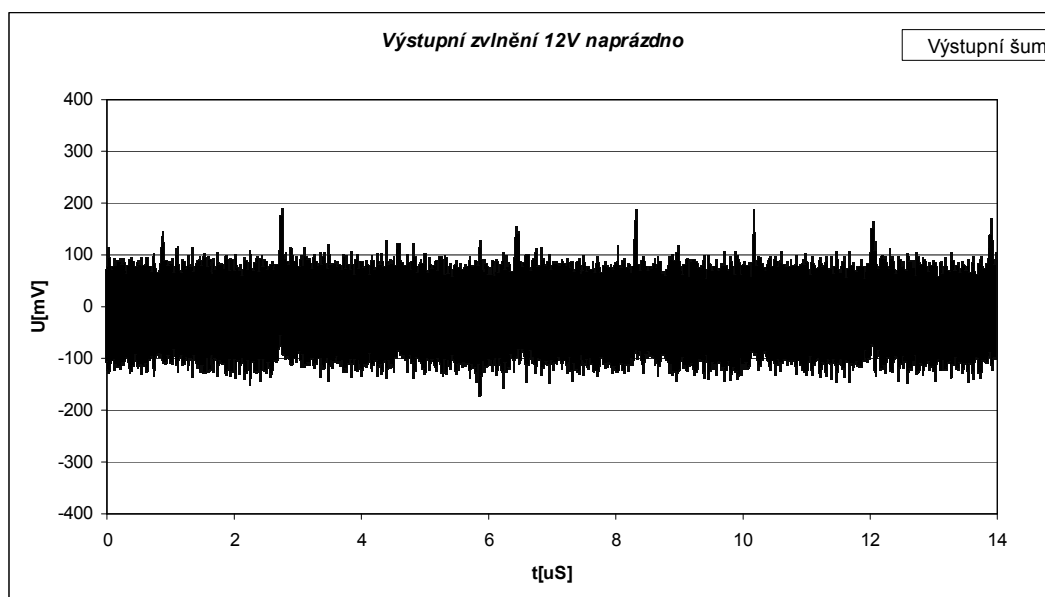
Obr. 29 : Měření proudové pojistky

### 3.3.3 Výstupní zvlnění

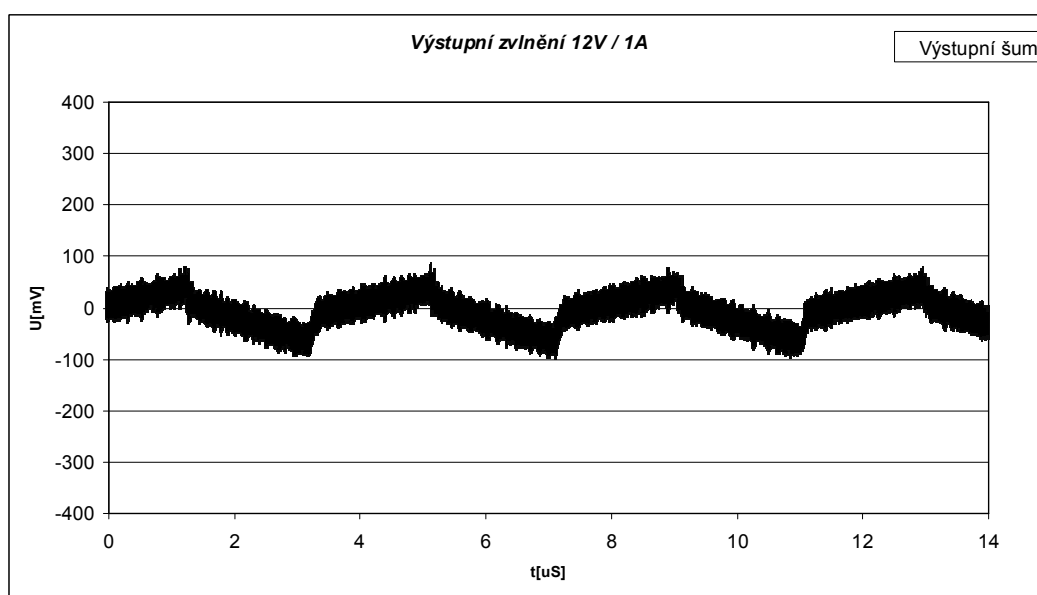
Výstupní zvlnění udává velikost kolísání výstupního napětí. Bývá to periodický jev na stejnosměrném proudu získaném ze střídavého napětí. Příčinou bývá neúplné potlačení střídavé složky vstupního střídavého napětí.

Naměřené výstupní zvlnění na obrázku 30 a 31 má hodnotu kolem 100 mV. Tato hodnota je poměrně vysoká. Zvlnění by mohlo být způsobeno obvodem MAX1673, jelikož jsou u něj použity větší kondensátory než v datasheetu. Toto zvlnění vadí při potřebě použití menšího napájecího napětí, kde takové zvlnění může dělat problémy. Pro větší napájecí napětí nevádí. Zvlnění je stejné pro různé zátěže a napětí.

Na obrázku 32 je zobrazen šum při napětí 12V naprázdno.

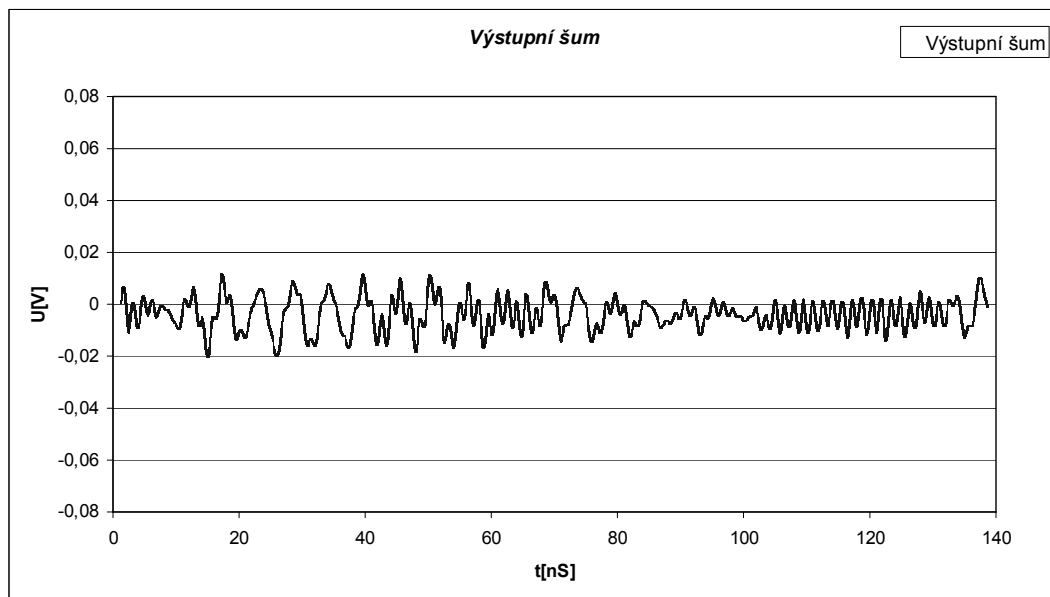


Obr. 30 : Výstupní zvlnění naprázdno, 12V



Obr. 31 : Výstupní zvlnění při zatížení, 12V/1A





Obr. 32 : Výstupní šum, 12V

## ZÁVĚR

Zadáním bakalářské práce bylo navrhnout digitálně řízený napájecí zdroj s regulovatelným výstupním napětím a nastavitelnou proudovou pojistkou. Data měla být zobrazena na LCD displeji a řízení provedeno pomocí maticové klávesnice. Úkolem také bylo zařízení zrealizovat a ověřit jeho funkci a vlastnosti.

V bakalářské práci bylo navrženo řešení pomocí lineárních regulátorů L200 řízených pomocí digitálních potenciometrů AD5293. Digitální potenciometry komunikují s řídicím mikrokontrolérem pomocí SPI sběrnice. Vzhledem k 1024 krokům digitálního potenciometru lze nastavit napětí a proudovou pojistku velice přesně.

O řízení se stará mikrokontrolér ATmega16 firmy ATMEL. Na starost má kromě snímání stavu maticové klávesnice a zobrazování dat na LCD displeji také měření teploty, napětí na výstupu a proudu tekoucího do zátěže.

Zařízení bylo oživeno a byly ověřeny jeho vlastnosti. Měření napětí z děliče by bylo vhodné doplnit o paralelně připojený filtrační kondensátor pro filtraci nežádoucího šumu. Z měření zatěžovací charakteristiky lze usoudit, že se zařízení chová jako poměrně tvrdý zdroj. Při vyšším proudu však napětí klesne až o 2V. Tento jev by měl být potlačen použitím většího transformátoru.

Dále byla změřena funkčnost hardwarové proudové pojistky. Nastavení pojistky na určité hodnoty bylo provedeno pomocí měření. Při aktivaci pojistky klesne výstupní napětí na zhruba 0,5V, což omezí i protékající proud.

Výstupní zvlnění je zhruba 100 mV. Toto zvlnění je poměrně velké. Problém by mohlo způsobovat při snaze napájet zařízení využívající nízké napájecí napětí.

Zadání bakalářské práce bylo tedy splněno.

# LITERATURA

- [1] KOCIÁN, D. *Digitálně řízený napájecí zdroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 71 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Roman Šotner.
- [2] Spínaný zdroj [online]. Wikipedia, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%ADnan%C3%BD\\_zdroj?uselang=cs](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%ADnan%C3%BD_zdroj?uselang=cs)
- [3] Spínané zdroje [online]. HellWEB, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt&id=33>
- [4] ATmega16. [online] ATMEL corporation [cit. 22. května 2011]. Dostupné na: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf)
- [5] AVR studio 4 [online]. ATMEL corporation, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: [http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=2725](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=2725)
- [6] PAVLÍČEK, P. *Regulovatelný zdroj napájený a řízený pomocí USB*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.
- [7] WinAVR [online] – [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.nongnu.org/avr-libc/>
- [8] WinAVR download [online] [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://winavr.sourceforge.net/download.html>
- [9] HD44780 [online] [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/LCDmatice.html>
- [10] LCD library [online]. Peter Fleury, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.jump.to/fleury>
- [11] INA194 [online]. Texas Instruments, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/a/0a0lof6y76ypcpg5rrojeiw1l9ky.pdf>
- [12] LM35DZ [online]. National Semiconductor, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>
- [13] L200CV [online]. STMicroelectronic, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/1318.pdf>
- [14] MAX1673 [online]. Maxim, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/MAX1673.pdf>
- [15] AD5293 [online]. Analog Devices, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD5293.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5293.pdf)
- [16] SPI [online]. Engineers Garage, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: <http://www.engineersgarage.com/embedded/avr-microcontroller-projects/spi-serial-peripheral-interface-tutorial-circuit>
- [17] Daisy chain [online]. Wikipedia, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Serial\\_Peripheral\\_Interface\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus)
- [18] FT232RL [online]. Future Technology Devices International, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW: [http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)

[19] LM317 [online]. National Semiconductor, [cit. 22. května 2011]. Dostupné na WWW:  
<http://www.national.com/ds/LM/LM117.pdf>